

陕西咸阳白蜡虫种群生态学及生产适宜性研究

吴昊¹,李鸿明¹,钟芳竹²,吴金文²,孙文军³,刘刚⁴,魏琮^{1*}

(1. 西北农林科技大学 植物保护学院,陕西 杨陵 712100;2. 怀化市芷润达农林科技开发有限公司,芷江侗族自治县林业局,湖南 芷江 419100;
3. 陕西华荣园林景观建设集团有限公司,陕西 咸阳 712000;4. 兴平市林业工作站,陕西 兴平 713100)

摘要:白蜡虫是我国重要的资源昆虫。近年来陕西咸阳地区白蜡虫养殖和白蜡生产逐渐兴起,但白蜡虫在该地区的种群生态学及生产适宜性一直缺乏系统研究。对该地区白蜡虫生活史、雌虫种群动态、雄虫泌蜡量、种群分布特征及寄生性天敌情况进行系统调查,并与其他传统产虫、产蜡地区的相关数据进行比较分析,综合评估咸阳地区白蜡虫生产适宜性。结果表明,陕西咸阳地区白蜡虫1 a完成1代,能够正常完成生长发育且种群繁衍良好。雌成虫初期(8月)死亡率较高,是影响种群数量的关键时期。雄虫终泌蜡厚度为4.60 mm,单体泌蜡量为0.603 mg,略低于传统产蜡区四川峨眉的泌蜡量,但高于传统产虫区云南昭通、昆明等地的泌蜡量。1龄雄虫主要分布在寄主植物大叶女贞叶片前段,1龄雌虫主要分布在前段和中段;2龄雄虫主要分布在枝条的前段,2龄雌虫在枝条上的分布较为均匀。寄生性天敌主要为膜翅目跳小蜂科和姬小蜂科的寄生蜂,其中危害白蜡虫卵期的寄生蜂为中华花翅跳小蜂和白蜡虫黑角啮小蜂,危害白蜡虫2龄雌虫和雌成虫的寄生蜂为白蜡虫阔柄跳小蜂、白蜡虫花翅跳小蜂、蜡蚧啮小蜂和白蜡虫长尾啮小蜂,危害白蜡虫2龄雄虫的寄生蜂为白蜡虫花翅跳小蜂、白蜡虫啮小蜂、蜡蚧啮小蜂和白蜡虫长尾啮小蜂。研究结果表明,咸阳地区的气候及寄主等条件适合白蜡虫的产虫、产蜡兼顾发展,尤其适合优质种虫培育;加强白蜡虫资源的综合管理,实行虫、蜡分区域科学管理,可实现虫、蜡同时高产稳产。研究结果为陕西关中及邻近地区的白蜡虫科学养殖和资源开发提供了参考依据。

关键词:白蜡虫;生活史;种群动态;泌蜡;分布特征;寄生蜂;生产适宜性

中图分类号:S899.1

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)06-0145-08

Population Ecology and Production Suitability of *Ericerus pela* in Xianyang, Shaanxi Province

WU Hao¹, LI Hong-ming¹, ZHONG Fang-zhu², WU Jin-wen², SUN Wen-jun³, LIU Gang⁴, WEI Cong^{1*}

(1. College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Zhirunda Agriculture and Forestry Technology Development Co., Ltd of Huaihua, Forestry Bureau of Zhijiang Dong Autonomous County, Zhijiang 419100, Hunan, China;

3. Shaanxi Huarong Landscape Construction Group Co., Ltd, Xianyang 712000, Shaanxi, China;

4. Xingping Forestry Station, Xingping 713100, Shaanxi, China)

Abstract: The Chinese white-wax insect *Ericerus pela* is one of the most important resource insects in China. Recently, the breeding of *E. pela* and the production of the Chinese white-wax have been developed in Xianyang, Shaanxi, China, but the population ecology and the production suitability of *E. pela* in this area have never been evaluated. In this study, a systematic investigation was conducted on the life history, the population dynamics of females, the secreted wax amount of nymphal males, and the parasitic wasps harming *E. pela* in Xianyang. And the relevant data were compared with those in other areas traditionally known as Chinese white wax production to comprehensively evaluate the suitability of breeding *E. pela* in

收稿日期:2022-10-19 修回日期:2023-08-22

基金项目:国家自然科学基金项目(32070476)。

第一作者:吴昊。研究方向:资源利用与植物保护。E-mail:3539836017@qq.com

*通信作者:魏琮,博士,博士生导师。研究方向:昆虫系统学与生物多样性。E-mail:congwei@nwsuaf.edu.cn

Xianyang and adjacent areas. The results showed that *E. pela* could grow and reproduce normally in Xianyang, where they completed one generation per year. The mortality of female adults was high at the early adult period (August), which was the key period affecting the population. The average thickness of wax secreted by one male was 4.60 mm, and the average amount of wax excreted by one male was 0.603 mg, which was slightly less than that of the traditional wax-producing area of Emei, Sichuan Province, but higher than that of the traditional insect-brooding areas such as Zhaotong and Kunming in Yunnan Province. The 1st-instar males were mainly distributed in the upper section of a leaf of the host plant *Ligustrum lucidum*, while the females were mainly distributed in the upper and middle sections of a leaf of *L. lucidum*. The 2nd-instar males were mainly distributed in the upper part of a branch of *L. lucidum*, while the females were more evenly distributed in a branch. The parasitic wasps that harms *E. pela* were mainly species of Encyrtidae and Eulophidae of Hymenoptera. The parasitic wasps harming *E. pela* eggs were *Microterys sinicus* and *Tetrastichus* sp., harming the 2nd-instar nymphal females and adults of *E. pela* were *Metaphycus ericeri*, *M. ericeri*, *T. ceroplasteae* and *Aprostocetus* sp.. The parasitic wasps harming the 2nd-instar nymphal males of *E. pela* were *M. ericeri*, *T. kodaikanalensis*, *T. ceroplasteae* and *Aprostocetus* sp.. Our results show that the climate and the host conditions in Xianyang are suitable for the breeding of the Chinese white-wax insect and also for the production of Chinese white-wax, especially for the production of *E. pela* broods of high fitness. Strengthening the comprehensive management of *E. pela* resources through implementing regional scientific management of the breeding of *E. pela* and the production of wax can achieve high and stable production of the insects and wax simultaneously. This study contributes to scientific breeding and resource development of *E. pela* in Guanzhong Region (central Shaanxi) and adjacent areas.

Key words: *Ericerus pela*; life history; population dynamics; wax excretion; distribution; parasitic wasp; production suitability

白蜡虫(*Ericerus pela*)是一种寡食性刺吸式口器昆虫,属半翅目(Hemiptera)蚧科(Coccidae),具有雌雄二型现象,可进行两性生殖和孤雌生殖^[1]。白蜡虫是重要的资源昆虫,其雄虫在寄主植物上分泌的“蜡花”具有重要经济价值,“蜡花”加工后的白蜡在化工、机械、食品、药品、化妆品、农业等行业^[2]具有广泛应用。

以往开展的白蜡虫生态学调查和研究主要局限于我国南方的湖南、四川、云南等地,主要包括白蜡虫的泌蜡量^[3-5]、在寄主植物上的分布特征^[6]、与寄主植物的关系^[7-10]、与生态因子的关系^[11-14]、天敌寄生蜂^[15-17]等。陕西省白蜡虫资源的相关调查研究少,仅张子有等^[18]在20世纪80年代对陕西白蜡虫资源状况进行过调查分析,发现当时的白蜡虫繁育局限于陕南的汉中、安康地区,其雄虫泌蜡量少于云南、贵州等地的白蜡虫泌蜡量,雌虫生存率极低,但繁殖率高^[19];雌成虫在大叶女贞(*Ligustrum lucidum*)上的产雄卵量多于在白蜡树(*Fraxinus chinensis*)上的产雄卵量^[20]。张子有等对陕西省白蜡虫资源的调查距今已有30 a之久,此后再无相关报道。但近年来,陕西咸阳地区白蜡虫重新发生,并吸引了来自“白蜡之乡”湖南芷江的蜡农前来采蜡、采收(购)虫种,一些当地农户在他们带动、启示下,也开

始通过种植大叶女贞发展白蜡虫养殖和生产活动。但咸阳地区当前的白蜡虫资源现状及生产适宜性一直缺乏调查和评估。本研究于2019年开始,对咸阳地区白蜡虫的生活史、种群动态、种群分布特征、泌蜡量及天敌情况进行了调查,并与其他传统产虫、产蜡地区的数据进行了比较分析,以期对咸阳地区的白蜡虫生产适宜性进行综合评估,为陕西白蜡虫的科学养殖和资源开发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

本研究所有材料均来源于咸阳地区,以兴平市汤坊镇白蜡虫养殖园作为主要研究样地(样地1)(108°49' E, 34°30' N, 海拔419 m),以秦都区夏家寨村白蜡虫养殖园作为辅助研究样地(样地2)(108°36' E, 34°21' N, 海拔480 m)。该地气候为暖温带半湿润大陆性季风气候;白蜡虫的寄主植物均为3~4年生大叶女贞,平均种植密度(行距×株距)为2.77×1.87 m,平均株高为3.24 m。

1.2 研究方法

1.2.1 咸阳白蜡虫生活史调查 采用“Z”字形取样法,每7 d观察并记录2样地内虫体生长变化情况,记录各虫期(雌成虫越冬期、产卵期、幼虫孵化

期、定叶期、定杆期、雄虫化蛹期、雄成虫羽化期、雌雄成虫交配期)的发育时间及发育特点。

1.2.2 成虫种群动态调查 分别在2个样地进行白蜡虫种群动态调查。根据前期调查,咸阳地区的白蜡虫雌虫8月逐渐进入成虫期,11月初数量趋于稳定,雌虫在成虫初期至越冬前期(咸阳为8—10月)的死亡率是衡量一个地区白蜡虫种群数量变化的重要指标^[14]。待2龄雌虫在8月进入成虫期后,在样地内随机选取30个白蜡虫定杆的枝段(约10 cm),以旬为单位统计白蜡虫雌虫虫口数量并计算其死亡率,直至11月进入越冬期。

1.2.3 雄虫泌蜡厚度及泌蜡量调查 雄虫泌蜡厚度测定参考张子有等^[19]方法进行。在样地内随机选取20个女贞枝条,用0~200 mm游标卡尺(Guanglu, China)测量雄虫的蜡花厚度增长(精确到0.01 mm),调查时间从7月底雄虫稳定泌蜡开始,截至蜡花被蜡农采收之际。

雄虫泌蜡量测定参考陈晓鸣等^[4]方法进行。待雄虫进入蛹期停止泌蜡后,随机选取布满蜡花的枝条,剥下长度约为4 cm的蜡花40块,挑出雄虫并统计其数量,然后将纯净蜡花置于60℃的烘箱中烘干24 h,使用AUW220分析天平(SHIMADZU, Japan)称重(精确到0.1 mg)。

1.2.4 白蜡虫在大叶女贞上的分布特征 白蜡虫1龄雌虫在寄主植物叶片腹面取食,1龄雄虫在寄主植物叶片背面取食^[21]。在1龄白蜡虫定叶期,样地内随机抽取120片大叶女贞叶片,将叶片分为前段(靠近叶柄部)、中段(叶片中部)、后段(远离叶柄部),每段长度为叶片总长度的1/3,分别统计叶片各段位置白蜡虫雌雄虫的数量。

白蜡虫2龄雌虫常固定于1年生枝条取食,白蜡虫2龄雄虫常固定于2年生枝条取食^[6]。在2龄白蜡虫定杆期,在样地内随机抽取120个大叶女贞1年生枝条和120个2年生枝条,参照陈晓鸣等^[6]的方法,将枝条分为枝条前段(靠近枝条分支部)、中段(枝条中部)、后段(远离枝条分支部),每段长度为枝条总长度的1/3,分别统计枝条各段位置白蜡虫雌雄虫的数量,雄虫由于定杆时已泌蜡覆盖虫体,其数量难以统计,因此用定杆密度乘定杆面积来估算。

1.2.5 白蜡虫寄生蜂种类及主要危害时期调查 寄生蜂的收集方法参考赵杰军等^[22]的方法进行。在白蜡虫卵期、幼虫期和成虫期,分别随机选取40个有虫枝条,截取长度约为5 cm的一段,装入指形管($\Phi=3$ cm, $h=10$ cm),用双层纱布封口,观察其中是否有寄生蜂羽化出现,并收集羽化的寄生蜂,制成标本后进行鉴定。

1.2.6 白蜡虫生产适宜性评估 综合调查结果和咸阳地区气候条件(气象数据均来自中国气象局数据中心),将其与四川峨眉、云南昆明、昭通及陕西、安康等地区的相关情况进行比较,分析咸阳地区白蜡虫生产的适宜性。其他产蜡(虫)区的数据从已发表的相关文献^[13-14,19]获得。

1.2.7 数据分析 利用Microsoft Excel 2016和SPSS 22.0软件对数据进行统计分析,其中白蜡虫在寄主植物上的分布特征部分采用Kruskal-Wallis检验的数据分析方法。

2 结果与分析

2.1 咸阳地区白蜡虫生活史

咸阳地区白蜡虫1年发生1代,雄虫为完全变态昆虫,雌虫为渐变态昆虫。3月中旬至4月中旬越冬雌虫发育,虫体快速膨大成球体,部分雌虫自臀裂处排出露水状糖珠,俗称“吊糖”。4月中、下旬雌虫开始产卵。5月下旬1龄幼虫开始孵化,雌性先于雄性孵化;1龄雌性幼虫喜光,以刺吸式口器固定于叶片正面;雄性避光固定于叶片背面,俗称为“定叶”。雌、雄幼虫分别于6月中旬和6月下旬蜕皮后进入2龄,转栖于枝干,俗称“定杆”。2龄雌虫8月逐渐进入成虫期;2龄雄虫于8月下旬开始化蛹,9月上旬开始羽化,俗称“放箭”,羽化后与雌虫进行交配(可以多次交配),交配后雄虫死亡(至10月中旬雄虫全部死亡),雌虫越冬后于翌年春季产卵(表1)。

2.2 雌成虫种群动态

本研究对2020年、2022年的白蜡虫雌成虫种群动态(每年7月下旬至11月中旬)进行了统计分析和对比(图1)。2020年7月下旬白蜡虫雌虫数量记为100%,8月下旬雌成虫数量下降至55.55%,9月下旬为44.18%,10月下旬为20.19%;2022年7月下旬白蜡虫雌虫数量记为100%,8月下旬雌成虫数量变为71.99%,9月下旬为61.99%,10月下旬为36.41%。结果表明,2020年8月(雌成虫初期)、9、10月的死亡率分别为44.45%、11.37%、23.99%;2022年8月(雌成虫初期)、9、10月的死亡率分别为28.01%、10.00%、25.58%。白蜡虫雌成虫数量均呈现递减趋势,在8月(雌成虫初期)死亡率最高,这可能与雌成虫初期密度最大相关(此时的个体相互交叠、拥挤)。

2.3 蜡花厚度与泌蜡量

2020年7月29日,初测蜡花平均厚度为 (3.14 ± 0.29) mm,9月2日蜡花平均厚度达到 (4.56 ± 0.27) mm;8月8—13日蜡花平均增厚速度为0.086 mm/d,是蜡花增厚最快阶段;8月28日—

9月2日蜡花平均增厚速度最慢,为0.004 mm/d(表2)。2021年8月2日,初测蜡花平均厚度为(3.04±0.37)mm,8月27日蜡花平均厚度为(4.63±0.57)mm;8月2—7日蜡花增厚速度最快,

为0.095 mm/d;8月22—27日蜡花增厚速度最慢,为0.041 mm/d(表2)。结果表明,白蜡虫蜡花厚度在2020、2021年7月下旬至9月上旬均呈现逐渐加厚的趋势(图2)。

表1 咸阳地区白蜡虫生活史

Table 1 Life history of *E. pela* in Xianyang

世代	月份									
	1—3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11—12月	
越冬代(♀)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
子代卵		•	•	•	•	•				
子代1龄幼虫				—	—	—	—			
子代2龄幼虫				—	—	—	—	—		
子代蛹(♂)							△	△	△	△
子代成虫(♂)							+	+	+	+
子代成虫(♀)						+	+	+	+	+

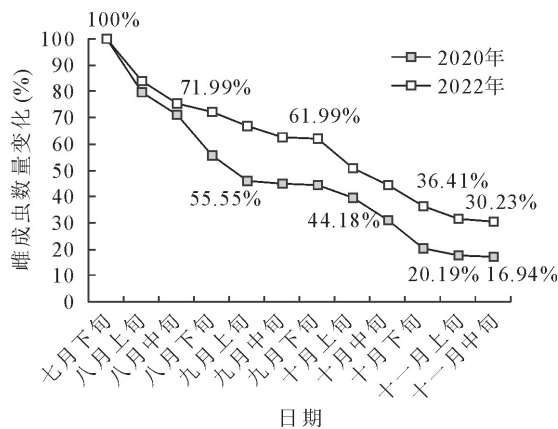


图1 白蜡虫雌成虫种群动态变化曲线

Fig. 1 Population dynamics of female adults of *E. pela*

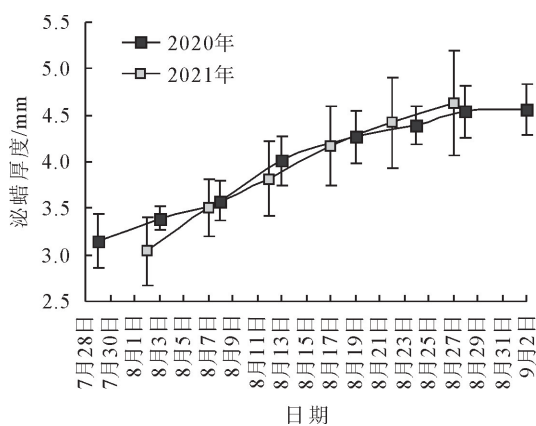


图2 白蜡虫雄虫泌蜡厚度增长动态

Fig. 2 The wax thickness of *E. pela*

经过2a对雄虫泌蜡量的统计测定,从蜡花样本共分离出17809只雄虫,去除雄虫和杂质后,获得纯净蜡花10.73g,最终得到白蜡虫雄虫个体平均泌蜡量为(0.603±0.045)mg(表3)。2021年在样地1的雄虫个体平均泌蜡量为(0.593±0.026)mg,样地2雄虫个体平均泌蜡量为(0.615±0.019)mg;

2022年样地2的雄虫个体平均泌蜡量为(0.600±0.057)mg。

2.4 白蜡虫在大叶女贞上的分布特征

1龄白蜡虫雌虫与雄虫在大叶女贞叶片上的分布存在差异,雌虫主要分布在叶片中段和前段(具体数量比例见图3A),其中中段(41.79%)与后段(20.16%)、前段(38.04%)与后段的差异均达显著水平($P<0.05$),而中段与前段的差异未达显著水平($P>0.05$)。1龄雄虫主要分布在大叶女贞叶片前段(图3A),其前段(51.20%)、中段(40.36%)、后段(8.44%)两两之间差异均达显著水平($P<0.05$)。

表2 白蜡虫雄虫泌蜡厚度的变化

Table 2 The wax thickness of *E. pela*

年份	日期	蜡花厚度/ mm	蜡花 平均厚度± 标准差/mm	蜡花增厚 平均速度/ (mm·d ⁻¹)
2020	7月29日	2.72~3.59	3.14±0.29	—
	8月3日	3.19~3.52	3.39±0.13	0.051
	8月8日	3.39~3.92	3.58±0.21	0.036
	8月13日	3.73~4.46	4.01±0.27	0.086
	8月19日	3.90~4.78	4.27±0.28	0.053
	8月24日	4.02~4.68	4.39±0.21	0.023
	8月28日	4.12~4.99	4.54±0.28	0.031
	9月2日	4.30~4.96	4.56±0.27	0.004
2021	8月2日	2.36~3.75	3.04±0.37	—
	8月7日	3.04~4.20	3.51±0.31	0.095
	8月12日	3.45~4.91	3.82±0.40	0.062
	8月17日	3.54~5.12	4.17±0.42	0.071
	8月22日	3.55~5.38	4.42±0.48	0.050
	8月27日	3.60~5.44	4.63±0.57	0.041

2龄雌虫与雄虫在大叶女贞枝条上的分布同样存在差异(图3B),2龄雌虫在枝条上的分布较为均衡,其中前段、中段、后段的数量占比分别为32.41%、37.50%、为30.09%,中段与前段、后段与

前段均未达显著水平($P>0.05$),而中段与后段的差异达显著水平($P<0.05$)。2 龄雄虫主要分布在枝条前段,前段、中段、后段的数量占比分别为 67.76%、24.03%、8.21%,前段、中段、后段两两之间差异均达显著水平($P<0.05$)。

表 3 白蜡虫雄虫泌蜡量

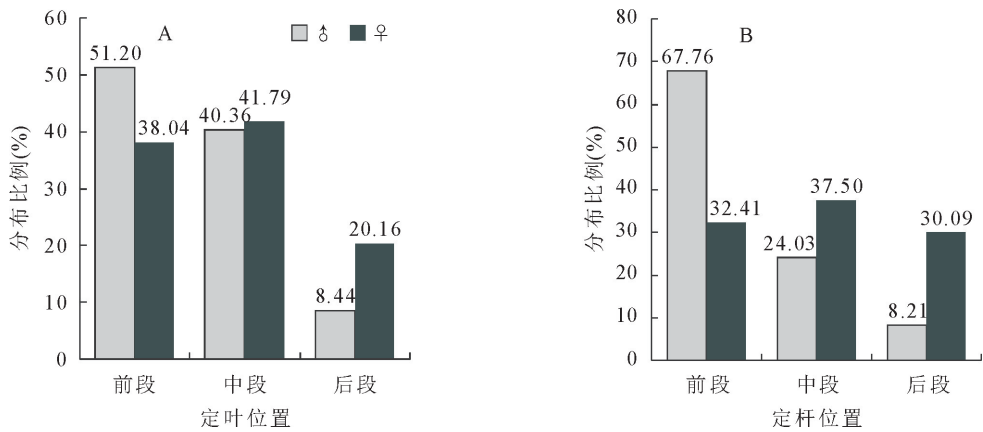
Table 3 The excreted wax amount of <i>E. pela</i>				
年份	样地	雄虫数	产蜡量/g	单头雄虫平均泌蜡量±标准差/mg
2021	1	6 488	3.85	0.593±0.026
2021	2	5 837	3.59	0.615±0.019
2022	2	5 484	3.29	0.600±0.057
合计		17 809	10.73	0.603±0.045

2.5 白蜡虫寄生蜂种类及主要危害时期

白蜡虫的寄生性天敌主要为膜翅目寄生蜂,分别属于跳小蜂科(Encyrtidae)和姬小蜂科(Eulophidae),其中白蜡虫花翅跳小蜂(*Microterys ericeri*)、

白蜡虫阔柄跳小蜂(*Metaphycus ericeri*)和中华花翅跳小蜂(*Microterys sinicus*)发生数量最多,其次发生较多的是白蜡虫长尾啮小蜂(*Aprostocetus* sp.)和白蜡虫啮小蜂(*Tetrastichus kodaikanalensis*),蜡蚧啮小蜂(*Tetrastichus ceroplasteae*)和白蜡虫黑角啮小蜂(*Tetrastichus* sp.)较少发生。

白蜡虫卵期寄生蜂为中华花翅跳小蜂和黑角啮小蜂。白蜡虫 1 龄幼虫从卵中孵化后需要爬行一段时间寻找寄主植物“定叶”,“定叶”时间约为 2 周,受寄生蜂危害较小;2 龄雄虫在枝条定杆约 3 个月(6 月中旬至 9 月上旬),主要寄生蜂为白蜡虫花翅跳小蜂、白蜡虫啮小蜂、蜡蚧啮小蜂、白蜡虫长尾啮小蜂。白蜡虫雌虫自 2 龄(6—8 月)至成虫(8 月至翌年 3 月)均在枝条上固定生活,极易受到寄生蜂危害,主要寄生蜂为白蜡虫阔柄跳小蜂、白蜡虫花翅跳小蜂、白蜡虫长尾啮小蜂、蜡蚧啮小蜂(表 4)。



A. 1 龄幼虫定叶期; B. 2 龄幼虫定杆期。

图 3 白蜡虫在寄主植物不同位置分布情况

Fig. 3 Distribution ratio of *E. pela* in different sections of *L. lucidum*

表 4 白蜡虫各虫期的寄生蜂种类

Table 4 The species of parasitic wasps of <i>E. pela</i> at each stage	
白蜡虫虫期	白蜡虫的寄生蜂种类
卵	中华花翅跳小蜂(<i>Microterys sinicus</i>) 白蜡虫黑角啮小蜂(<i>Tetrastichus</i> sp.)
2 龄幼虫 ♀	白蜡虫阔柄跳小蜂(<i>Metaphycus ericeri</i>) 白蜡虫花翅跳小蜂(<i>Microterys ericeri</i>) 蜡蚧啮小蜂(<i>Tetrastichus ceroplasteae</i>) 白蜡虫长尾啮小蜂(<i>Aprostocetus</i> sp.)
2 龄幼虫 ♂	白蜡虫花翅跳小蜂(<i>Microterys ericeri</i>) 白蜡虫啮小蜂(<i>Tetrastichus kodaikanalensis</i>) 蜡蚧啮小蜂(<i>Tetrastichus ceroplasteae</i>) 白蜡虫长尾啮小蜂(<i>Aprostocetus</i> sp.)
成虫 ♀	白蜡虫阔柄跳小蜂(<i>Metaphycus ericeri</i>) 白蜡虫花翅跳小蜂(<i>Microterys ericeri</i>) 蜡蚧啮小蜂(<i>Tetrastichus ceroplasteae</i>) 白蜡虫长尾啮小蜂(<i>Aprostocetus</i> sp.)

2.6 咸阳地区白蜡虫生产适宜性

将咸阳地区的气候条件、蜡花厚度、单体雄虫泌蜡量、雌成虫死亡率等与昆明(产蜡区),昭通(产虫

区)、安康(产虫区)、峨眉(产虫区)的相关数据进行比较,结果表明,咸阳地区的年相对湿度和产蜡期相对湿度均低于其他地区;日照时数与昭通相近,高于安康、峨眉,小于昆明;年平均温度低于昆明、安康、峨眉,高于昭通;以女贞树为寄主的咸阳白蜡虫泌蜡厚度大于以白蜡树为寄主的安康地区白蜡虫泌蜡厚度;单体雄虫泌蜡量大于昆明、昭通,小于峨眉;雌成虫初期死亡率为(36.23%)与昆明和昭通相近;雌成虫 11 月前死亡率为 71.70%,小于昆明(表 5)。

白蜡虫雌、雄虫在咸阳地区能够良好生长,雌成虫死亡率(尤其是初期死亡率)较低,与传统产虫区昭通、昆明接近,表明咸阳是白蜡虫的适生区,种群繁衍情况良好。从咸阳环境条件分析,湿度低、年日照时数较高,适合生产种虫;从实际的产蜡结果来看,咸阳白蜡虫单雄虫产蜡量虽低于传统产蜡区,但远大于产虫区。综合比较分析表明,咸阳地区适宜白蜡虫的产虫、产蜡兼顾发展,尤其适合优质种虫的生产。

表 5 不同地区白虫的产虫、产蜡情况比较

Table 5 Comparison of *E. pela* population and wax production among different areas

地区	种虫来源	寄主植物	海拔/m	光照/ (h·a ⁻¹)	年平均湿度 (%)	泌蜡期湿度 (6—9月) (%)	年平均温度/ ℃	泌蜡期温度 (6—9月)/ ℃	蜡花厚度/ mm	雄虫泌蜡量/ mg	雌成虫初期死亡率 (%)	雌成虫11月前死亡率 (%)
咸阳	芷江	大叶女贞	400~700	2 000~2 300	71	75	13.0	24.6	4.6	0.603	36.23	71.70
昆明	/	大叶女贞	1 800~1 900	2 400~2 500	73	86	14.8	20.8	/	0.446	20~50	76.00
昭通	昆明	大叶女贞	1 500~2 000	1 900~2 200	74	85	11.7	19.8	/	0.460	20~50	/
安康	/	白蜡	250~500	1 700~1 800	73	81	15.6	23.9	4.0	/	>50	/
峨眉	昆明	大叶女贞	460	1 000~1 400	84	95	17.2	23.1	/	0.623	95~100	/
峨眉	昭通	大叶女贞	460	1 000~1 400	84	95	17.2	23.1	/	0.681	95~100	/

注:/表示无数据。

3 结论与讨论

本调查研究结果表明,咸阳地区白蜡虫雌成虫死亡率相对较低(8—10月分别为36.23%、11.69%、24.79%),雄虫分泌蜡花平均厚度为4.60 mm,单头雄虫平均泌蜡量为0.603 mg,大于传统产虫区,略小于传统产蜡区。温度、湿度和光照是影响白蜡虫生长最关键的生物因素,陈晓鸣等^[13]研究发现,在温度为11~20℃、相对湿度为70%~95%、日照时数为1 300~2 500 h/a的范围内,温度越低、湿度越低、光照越强,雌虫死亡率越低,适合白蜡虫种虫生长,湿度越高、光照越弱白蜡虫雄虫泌蜡量越高。咸阳地区年均气温为13℃,年相对湿度为71%,泌蜡期相对湿度为75%,日照时数为2 000~2 300 h/a,整体处于相对低温、低湿且光照强的环境,因此在该地区产虫、产蜡可以兼顾发展,尤其适宜种虫生长,若要进一步增加雄虫泌蜡量,可在泌蜡期调节田间小气候,通过增加湿度和遮光等措施来促进泌蜡量的提升。另外,本研究发现蜡农在2021年8月底采收蜡花时,泌蜡厚度增长曲线仍呈上升趋势,表明此时仍有部分雄虫还在泌蜡,因此应适当推迟蜡花采收时间,提高白蜡产量。

除了温、湿度和光照,刮风和降雨也是影响白蜡虫的另一关键因素。白蜡虫的1龄、2龄若虫在定叶、定杆前有“游叶”和“游杆”习性,这是种群数量损失的主要时期,相关研究结果表明1龄若虫爬行期的种群数量可能减少70%以上,刮风、降雨是其主要影响因素^[14]。咸阳地区5月底或有较多风雨天气,因此在白蜡虫生产中,“挂虫”前应密切关注未来几天的天气情况,若有较强刮风或阴雨天气,可通过人工降温措施抑制蜡虫出壳,推迟挂虫时期,减少1龄、2龄若虫期的虫口损失^[21]。

本研究表明,白蜡虫在不同发育时期,其寄生蜂的种类及危害差异比较明显。白蜡虫定叶期短(约1个月),受寄生蜂危害较轻;2龄雄虫在枝条“定杆”

约3个月(6月中旬至9月上旬),雌虫自2龄(6—8月)至成虫(8月至翌年3月)均固定在枝条上生活,极易受到寄生蜂危害。定杆初期的白蜡虫体壁薄,且未形成较厚的蜡花保护,因此不宜喷洒农药进行天敌防治^[19]。本研究中的2个样地,在白蜡虫定杆初期使用黄板(黄板上喷洒0.1%的乙醇)进行寄生蜂诱集防治,效果良好;在雄虫稳定泌蜡后(8—10月),采用20%甲氰菊酯、50%甲基硫菌灵、75%百菌清、等药剂对白蜡虫寄生蜂、象甲、瓢虫及白蜡虫褐腐病等进行防治,也取得了良好效果。此外,施用植物生长调节剂可增强寄主植物树势^[23],也可促进白蜡虫的生长繁殖。

白蜡虫为一化性昆虫,在各地均1a发生1代,但不同地区或同一地区不同地点的白蜡虫在世代交替时间^[24]及各龄期发生时间上存在差异^[21],北方地区普遍晚于南方地区,高海拔地区普遍晚于低海拔地区。例如,在长春地区白蜡虫5月初开始产卵,6月初1龄若虫开始孵化^[25];咸阳地区的白蜡虫则在4月中旬开始产卵,5月下旬1龄若虫开始孵化;而昆明地区的白蜡虫在3月已经产卵,4月底5月初1龄若虫开始进行孵化^[24]。峨眉地区海拔500 m的白蜡虫在3月下旬开始产卵,而在海拔1 000 m地区的白蜡虫则在4月中旬开始产卵^[21]。不同地区在发展白蜡虫资源养殖时,可利用其发生期差异,进行异地良种引进以提高白蜡产量和质量。

目前,很多地区的蜡农为了获得更优质的种虫,大多选择从外地引种。优质的种虫含卵量多,卵质量好,卵孵化率更高,更容易实现子代虫、蜡的高产。但不同产地的种虫对养殖地环境的适宜性存在差异^[4,26],在真正投入生产之前,应尝试选择多地点的种虫进行养育比较,然后确定可以实现虫(蜡)相对高产的种虫。在确定引用某地区的种虫后,还应对种虫进行质量筛选,应挑选虫囊大且薄、颜色红润有光泽,虫口紧小、色白,含卵饱满,无马鞭鞘、乌沙、空壳、破裂、黑壳、杂质,无天敌寄生或天敌寄生率低的

种虫^[27-28]。由于咸阳地区的环境条件(低温、低湿、高光照)非常适宜白蜡虫的种虫生产,湖南芷江等传统产蜡区近年来正持续不断从咸阳地区引进种虫进行白蜡生产。但咸阳地区目前的白蜡虫养殖与生产规模比较有限,种虫资源供不应求,每年都会发生种虫收摘期争相抢购、恶性竞争,甚至盗采行为发生,急需通过扩大养殖规模,建专业的白蜡虫种繁育基地和开展相关养殖技术培训,以提高种虫及白蜡的产量与质量,实现虫、蜡高产稳产,促进该地及邻近地区的白蜡虫科学养殖和资源开发利用。

致谢:衷心感谢杨忠岐教授(中国林业科学院,北京)鉴定白蜡虫的寄生蜂种类。

参考文献:

- [1] 王自力,陈晓鸣,王绍云,等.白蜡虫孤雌生殖的研究[J].林业科学研究,2003,16(4):386-390.
WANG Z L, CHEN X M, WANG Z Y, et al. Study on the parthenogenesis of *Ericerus pela* (Chavannes) [J]. Forest Research, 2003, 16(4): 386-390. (in Chinese)
- [2] 陈晓鸣,冯颖.资源昆虫学概论[M].北京:科学出版社,2009:29-40.
CHEN X M, FENG Y. An introduction to resource entomology [M]. Beijing: Science Press, 2009: 29-40. (in Chinese)
- [3] 陈勇,陈晓鸣,王自力,等.白蜡虫泌蜡研究Ⅱ.不同寄主植物上的泌蜡比较[J].林业科学研究,1998(3):58-61.
CHEN Y, CHEN X M, WANG Z L, et al. Studies on secreting wax of Chinese white wax scale Ⅱ. the comparison of secreting wax on different host plants[J]. Forest Research, 1998(3): 58-61. (in Chinese)
- [4] 陈晓鸣,陈勇,周朝鸿,等.白蜡虫泌蜡研究Ⅰ.不同地理种源泌蜡比较[J].林业科学研究,1998(1):37-41.
CHEN X M, CHEN Y, ZHOU C H, et al. Studies on wax secretion of Chinese white wax scale (*Ericerus pela* Chavannes) I. the comparison on wax secretion of different geographic varieties[J]. Forest Research, 1998(1): 37-41. (in Chinese)
- [5] 王旭军,梁军生,张玉荣.湖南白蜡虫泌蜡量研究[J].湖南林业科技,2020,47(1):77-80.
WANG X J, LIANG J S, ZHANG Y R. Study on the wax-secreting capacity of the breeding insect of *Ericerus pela* (Chavannes) [J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2020, 47(1): 77-80. (in Chinese)
- [6] 陈晓鸣,叶寿德,陈勇,等.白蜡虫在寄主植物上的分布特征研究[J].林业科学研究,1997,10(4):76-80.
CHEN X M, YE S D, CHEN Y, et al. Studies on distribution characteristics of Chinese white wax scale (*Ericerus pela* Chavannes) on host[J]. Forest Research, 1997, 10(4): 76-80. (in Chinese)
- [7] 王辅,冯长吉.女贞营养物质对白蜡虫雌虫的存活效应[J].西南农业大学学报,1989,11(3):249-252.
WANG F, FENG C J. The survivorship effect of host plant *Ligustrum lucidum* Ait. nutrition on the femal scale of China wax scale insect[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 1989, 11(3): 249-252. (in Chinese)
- [8] 王自力,王绍云,叶寿德,等.白蜡虫营养需求与寄主植物的营养关系[J].林业科学研究,2005,18(4):421-424.
WANG Z L, WANG S Y, YE S D, et al. A study on the relation between the nutritional needs of *Ericerus pela* (Chavannes) and nutritional component of host plants[J]. Forest Research, 2005, 18(4): 421-424. (in Chinese)
- [9] 赵杰军,陈晓鸣,王自力,等.白蜡虫七种寄主植物枝条树皮比较解剖研究[J].广西植物,2012,32(1):40-45,117.
ZHAO J J, CHEN X M, WANG Z L, et al. Comparative anatomical study of twig barks of seven host plant species of the *pela* wax scale, *Ericerus pela* (Chavannes) [J]. Guihaia, 2012, 32(1): 40-45, 117. (in Chinese)
- [10] 赵杰军,陈晓鸣,王自力.白蜡虫7种寄主植物叶片解剖结构与寄主选择性的关系[J].热带亚热带植物学报,2012,20(3):247-255.
ZHAO J J, CHEN X M, WANG Z L. Relationship between leaf anatomical structures of seven host plants and host-selection by *Ericerus pela* (Chavannes) [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2012, 20(3): 247-255. (in Chinese)
- [11] 王辅.白蜡虫幼虫扩散与温、光关系的研究[J].昆虫知识,1991(6):361-363.
- [12] 张长海,刘化琴,蔡静,等.生态因子对白蜡虫泌蜡关系的研究[J].西南林学院学报,1997,17(3):40-44.
ZHANG C H, LIU H Q, CAI J, et al. Studies on ecological factors on wax secretion of white wax scales[J]. Journal of Southwest Forestry College, 1997, 17(3): 40-44. (in Chinese)
- [13] 陈晓鸣,王自力,陈勇,等.环境因子对白蜡虫泌蜡的影响[J].生态学报,2007,27(1):103-112.
CHEN X M, WANG Z L, CHEN Y, et al. The impact of environmental factors on the wax excretion by Chinese white wax scale (*Ericerus pela* Chavannes) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 103-112. (in Chinese)
- [14] 陈晓鸣,王自力,陈勇,等.白蜡虫自然种群年龄特征生命表及主要死亡因素分析[J].林业科学,2008,44(9):87-94.
CHEN X M, WANG Z L, CHEN Y, et al. Age-specific life table of Chinese white wax scale (*Ericerus pela*) natural population and analysis of death key factors[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(9): 87-94. (in Chinese)
- [15] 姜德全,夏木俊,王雪林.四川白蜡虫的寄生蜂[J].四川动物,1986(3):14-19.
- [16] 王自力,陈勇,陈晓鸣,等.白蜡虫寄生蜂对颜色的选择性及活动规律[J].动物学研究,2008,29(6):661-666.
WANG Z L, CHEN Y, CHEN X M, et al. Color preference and active regularity of the parasite wasps of *Ericerus pela* [J]. Zoological Research, 2008, 29(6): 661-666. (in Chinese)
- [17] 王自力,陈勇,陈晓鸣,等.白蜡虫及其3种优势寄生蜂的时空生态位[J].生态学报,2011,31(4):914-922.
WANG Z L, CHEN Y, CHEN X M, et al. Temporal-spatial niches of Chinese white wax scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(4): 914-922. (in Chinese)
- [18] 张子有,邵孟明,苗光亚,等.陕西白蜡虫(*Ericerus pela* Chavannes)泌蜡量的研究[J].动物学研究,1982,3(2):111-116.
- [19] 张子有,邵孟明,齐胜利.白蜡虫优良种虫及种群性比组成的研究[J].林业科学,1990(1):46-52.

- ZANG Z Y, SHAO M M, QI S L. Study on five varieties and sex ratio of the population of the white wax insect (*Ericerus pela* Chavannes)[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1990(1):46-52. (in Chinese)
- [20] 张子有, 齐胜利, 张良玉. 白蜡虫生活在不同生态环境下繁殖力观察研究[J]. 昆虫知识, 1993(5):297-299.
- [21] 吴次彬, 钟远辉. 白蜡虫生物学特性的研究(一)[J]. 四川大学学报:自然科学版, 1983(3):91-99.
- WU C B, ZHONG Y H. Study on the bionomics of white-wax scale *Ericerus pela* Chavannes part I[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 1983(3):91-99. (in Chinese)
- [22] 赵杰军, 王自力, 王绍云, 等. 昆明地区白蜡虫天敌寄生蜂种群结构与动态研究[J]. 林业科学研究, 2004(6):746-750.
- ZHAO J J, WANG Z L, WANG S Y, *et al.* Studies on the population structure and dynamic of parasite wasps on *Ericerus pela* in Kunming area[J]. Forest Research, 2004(6):746-750. (in Chinese)
- [23] 吴次彬. 施肥对白蜡增产效应的初步研究[J]. 四川林业科技, 1981(1):25-28.
- [24] 陈晓鸣. 白蜡虫自然种群生态学[M]. 北京:科学出版社, 2011:14-17.
- CHEN X M. Natural population ecology of *Ericerus pela* [M]. Beijing: Science Press, 2011:14-17. (in Chinese)
- [25] 王志明, 许晓明. 长春市一新外来入侵物种——白蜡虫的生物学特性与种群控制研究[J]. 吉林农业大学学报, 2006(2):152-154.
- WANG Z M, XU X M. Biological observation and chemical control of the white wax scale, an invasive alien species in Changchun city[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2006(2):152-154. (in Chinese)
- [26] 张子有, 邵孟明, 齐胜利, 等. 中国白蜡虫(*Ericerus pela* Chavannes)泌蜡量研究[J]. 动物学研究, 1988, 9(1):93-97.
- [27] 张子有, 邵孟明, 齐胜利, 等. 白蜡虫质量检验研究[J]. 昆虫知识, 1990(5):304-305.
- [28] 王问学, 罗定一, 钱焕美. 白蜡虫几种寄生蜂的生物学和综合防治研究[J]. 森林病虫通讯, 1984(3):5-7.
- (上接第 122 页)
- [27] 郑兴蕊, 宋娅丽, 王克勤, 等. 滇中常绿阔叶林凋落物养分释放及生态化学计量特征对模拟 N 沉降的响应[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1):23-30.
- ZHENG X R, SONG Y L, WANG K Q, *et al.* Response of nutrient release and ecological stoichiometry of litter to simulated nitrogen deposition in evergreen broad-leaved forest in central Yunnan, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(1):23-30. (in Chinese)
- [28] XU X, HIRATA E. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics[J]. Plant and Soil, 2005, 273(1):279-289.
- [29] 薛飞, 龙翠玲, 廖全兰, 等. 喀斯特森林不同地形凋落物现存量及养分特征[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(5):28-35.
- XUE F, LONG C L, LIAO Q L, *et al.* Characteristics of litter stock and nutrients in different land forms in Karst forest[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 36(5):28-35. (in Chinese)
- [30] 廖良宁, 卢姿瑾, 李远发, 等. 桂西北细叶云南松天然林凋落物及土壤养分特征[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(1):31-38.
- LIAO L N, LU Z J, LI Y F, *et al.* Litter and soil nutrient characteristics of *Pinus yunnanensis* var. *tenuifolia* Natural forest in Northwest Guangxi[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2019, 34(1):31-38. (in Chinese)
- [31] 赵畅, 龙健, 李娟, 等. 茂兰喀斯特原生林不同坡向及分解层的凋落物现存量和养分特征[J]. 生态学报, 2018, 37(2):295-303.
- ZHAO C, LONG J, LI J, *et al.* Litter stock and nutrient characteristics of decomposing litter layers in Maolan Karst primary forest in different slope directions[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(2):295-303. (in Chinese)
- [32] GAUTAM M K, MEAD D J, FRAMPTON C M, *et al.* Pinus radiata in a sub-humid temperate silvopastoral system: modeling of seasonal root growth[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 182(1):303-313.
- [33] 张久海, 安树青, 李国旗, 等. 林牧复合生态系统研究述评[J]. 中国草地, 1999, (4):52-60.
- [34] 云雷, 毕华兴, 田晓玲, 等. 晋西黄土区林草复合界面雨后土壤水分空间变异规律研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4):938-944.
- YUN L, BI H X, TIAN X L, *et al.* Research on spatial heterogeneity of soil moisture after raining at forest-grassland boundary in the Loess region of West Shanxi[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(4):938-944. (in Chinese)
- [35] 赵粉侠, 李根前. 林草复合系统研究现状[J]. 西北林学院学报, 1996, 11(4):83-88.
- ZHAO F X, LI G Q. Current advance of tree-grass complex system researches[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1996, 11(4):81-86. (in Chinese)
- [36] 赵维俊, 刘贤德, 金铭, 等. 祁连山林草复合流域土壤温湿度时空变化特征[J]. 土壤, 2018, 50(4):795-802.
- ZHAO W J, LIU X D, JIN M, *et al.* Spatio-temporal change characteristics of soil temperatures and moistures in forest and grass complex basin in Qilian Mountains[J]. Soil, 2018, 50(4):795-802. (in Chinese)